УДК 658.345:621.874+06

О.А. КАЛАШНИКОВА

РАСЧЕТ ВИБРОСКОРОСТЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЛОНЖЕРОНОВ

В работе рассмотрен процесс формирования вибраций при фрезеровании длинномерных деталей (лонжеронов). Получены аналитические зависимости, которые позволяют рассчитать спектр вибраций лонжерона и на этой основе определить ожидаемые уровни излучаемого шума.
Ключевые слова: *вибрация, шум, фрезерование, лонжерон.*

Введение. Большинство работ, посвященных возникновению и распространению вибраций при фрезеровании, рассматривают обработку коротких сплошных заготовок на универсальном оборудовании. Существующие модели возбуждения вибраций, относящиеся к фрезерованию коротких сплошных деталей, рассмотренных как балка на упругом основании [1–3], неприменимы для условий фрезерования лонжеронов. Лонжерон значительно отличается от таких заготовок, поскольку один из его размеров многократно превышает два других и кроме этого по всей длине имеется внутреннее отверстие. Определим спектр вибраций лонжерона и уровни излучаемого шума.

Расчет вибраций лонжерона. Уравнения движения заготовки (лонжерона) как длинномерной тонкостенной оболочки, имеющей две оси симметрии, представим в виде:

$$EJ_X(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial z^4} - \rho J_X(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial z^2\partial t^2} + \rho F(z)\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2} = P_Y(z,t)\,\delta(z - z_0);$$

$$EJ_Y(z)\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial z^4} - \rho J_Y(z)\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial z^2\partial t^2} + \rho F(z)\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial t^2} = P_X(z,t)\,\delta(z - z_0), \quad (1)$$

где E – модуль упругости заготовки, Па; $J(z)$ – момент инерции, м^4; $\delta(z - z_0)$ – дельта функция, смещенная по координате.

При операциях фрезерования P_{YZ} и мощность резания N согласно исследованиям И.Г. Жаркова [4] и нормативам режимов резания [5] определяются по следующим формулам:

$$\tilde{P}_{YZ} = P_{YZ}\cos\left(\frac{\pi n z^*}{30}t - (q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right) = P_{YZ}\cos\left(\omega z^* t - (q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right); \quad (2)$$

$$P_{YZ} = \frac{10C_p t^{X^*} S_z^{Y^*} B^{n^*} z^*}{d^{q^*} n^{w^*}} K_{MP}, (\text{Н}); \quad (3)$$

$$N = P_Z V_P, (\text{Вт}), \quad (4)$$

где t – глубина резания; S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб; B – ширина фрезерования, мм; z^* – число зубьев фрезы; d – диаметр фрезы, мм; ω – частота вращения фрезы, м/мин; V_p – скорость резания, м/мин; C_p K_{MP} x^* y^* n^* q^* w^* – коэффициенты, зависящие от об-

рабатываемого материала, материала фрезы, геометрических параметров режущих пластинок и типа фрезы, выбираются по соответствующим таблицам [5].

Для шарнирно-опертой балки с учетом краевых условий и разложения технологической нагрузки, перемещающейся вдоль заготовки, получены дифференциальные уравнения поперечных колебаний:

$$EJ_X(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial z^4}-\rho J_X(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial z^2\partial t^2}+\rho F(z)\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}=$$
$$=\sum_{k=1}\frac{2P_{УП}}{l}\sin\frac{\pi kz}{l}\sin\frac{\pi kS}{l}t\cos\left(0{,}1nz^*-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right);\qquad (5)$$
$$EJ_Y(z)\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial z^4}-\rho J_Y(z)\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial z^2\partial t^2}+\rho F(z)\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial t^2}=$$
$$=\sum_{k=1}\frac{2P_{XП}}{l}\sin\frac{\pi kz}{l}\sin\frac{\pi kS}{l}t\cos\left(0{,}1nz^*-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right),$$

где l – длина заготовки; $S_П$ – скорость продольной подачи, м/с.

Введем обозначения:

$$\eta(z,t)=\eta(t)\sin\frac{\pi kz}{l}\quad \text{и}\quad \varepsilon(z,t)=\varepsilon(t)\sin\frac{\pi kz}{l}.\qquad (6)$$

Подставив выражение (6) в систему (5), получим

$$\left[\rho J_X(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+\rho F(z)\right]\frac{d^2\eta(t)}{dt^2}+EJ_X(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4\eta(t)=$$
$$=\sum_{k=1}\frac{2P_{УП}}{l}\sin\frac{\pi kS}{l}t\cos\left(\frac{\pi nz^*}{30}t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)$$
$$\left[\rho J_Y(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+\rho F(z)\right]\frac{d^2\varepsilon(t)}{dt^2}+EJ_Y(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4\varepsilon(t)=\qquad (7)$$
$$=\sum_{k=1}\frac{2P_{УП}}{l}\sin\frac{\pi kS}{l}t\cos\left(\frac{\pi nz^*}{30}t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)$$

Для условий жесткого закрепления, что соответствует заготовке малой изгибной жесткости, краевые условия закрепления имеют вид [6]:

$z=0$ — $y=0;\ \dfrac{dy}{dz}=0$; $\qquad z=l$ — $y=0;\ \dfrac{dy}{dz}=0$.

Определение уровня шума. В этом случае функцию, удовлетворяющую этим условиям, зададим в виде

$$\varphi(z)=\sin^3\frac{\pi kz}{l},$$

тогда

$$\delta\left(z-z_0\right)=\frac{2}{l}\sum_{k=1}\sin^3\frac{\pi kz}{l}\sin^3\frac{\pi kS_{П}}{l}t.$$

Производя преобразования, получим:

$$EJ_x(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial z^4}-\rho J_x(z)\frac{\partial^4\eta}{\partial z^2\partial t^2}+\rho F(z)\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}=\frac{2P_y}{l}\sum_{k=1}\left[\frac{3}{2}\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)+\right.$$

$$+\frac{3}{2}\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)-\frac{1}{2}\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-$$

$$\left.-\frac{1}{2}\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)\right]\left(\sin\frac{3\pi kz}{l}+3\sin\frac{\pi kz}{l}\right);$$

$$EJ_y(z)\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial z^4}-\rho J_y(z)\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial z^2\partial t^2}+\rho F(z)\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial t^2}=\frac{2P_x}{l}\sum_{k=1}\left[\frac{3}{2}\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)+\right.$$

$$+\frac{3}{2}\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)-\frac{1}{2}\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-$$

$$\left.-\frac{1}{2}\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)\right]\left(\sin\frac{3\pi kz}{l}+3\sin\frac{\pi kz}{l}\right). \qquad (8)$$

$$\rho\left(J_x(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F(z)\right)\frac{d^2\eta(t)}{dt^2}+EJ_x(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4\eta(t)=$$

$$=\frac{P_y}{l}\sum_{k=1}\left[3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)+3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\right.$$

$$\left.-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)\right];$$

$$\rho\left(J_y(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F(z)\right)\frac{d^2\varepsilon(t)}{dt^2}+EJ_y(z)\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4\varepsilon(t)=$$

$$=\frac{P_x}{l}\sum_{k=1}\left[3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)+3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\right.$$

$$\left.-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)\right];$$

$$\rho\left(J_x(z)\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F(z)\right)\frac{d^2\eta(t)}{dt^2}+EJ_x(z)\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4\eta(t)=$$

$$=\frac{P_y}{l}\sum_{k=1}\left[3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)+3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\right.$$

$$-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right);$$

$$\left(\rho J_y(z)\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F(z)\right)\frac{d^2\varepsilon(t)}{dt^2}+EJ_y(z)\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4\varepsilon(t)=$$

$$=\frac{P_x}{l}\sum_{k=1}\left(3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)+3\sin\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\right.$$

$$\left.-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)-\sin\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z^*}\right)\right).$$

$$\mathrm{Re}\{\eta(x,t)\}=\frac{3P_y}{l}\sum_{k=1}\left\langle\frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+(EJ_x\eta)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}\right.$$

$$+\cos\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$+\frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+(EJ_x\eta)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}$$

$$-\cos\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$-\frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+(EJ_x\eta)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}$$

$$+\cos\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$-\frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_x\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+(EJ_x\eta)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}$$

$$- \cos \left(\frac{3\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30} \right) t \quad (q \quad 1)\frac{2\pi}{z} \Bigg\rangle \sin\frac{\pi kz}{l}$$

$$+ \frac{P_y}{l} \Bigg\langle \sum_{k=1} \frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l} + \frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{\pi kS_n}{l} + \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{\pi kS_n}{l} + \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2 + (EJ_x\eta)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}$$

$$+ \cos \left(\left(\frac{\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right) t + (q \quad 1)\frac{2\pi}{z} \right)$$

$$+ \frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2 + (EJ_x\eta)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}$$

$$- \cos \left(\left(\frac{\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right) t - (q \quad 1)\frac{2\pi}{z} \right)$$

$$- \frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l} + \frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{3\pi kS_n}{l} + \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{3\pi kS_n}{l} + \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2 + (EJ_x\eta)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}$$

$$+ \cos \left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right) t \quad (q \quad 1)\frac{2\pi}{z} \right)$$

$$- \frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{3\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4 - \rho J_x\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2 + F\left(\frac{3\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2 + (EJ_x\eta)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}$$

$$- \cos \left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l} - \frac{\pi nz^*}{30}\right) t \quad (q \quad 1)\frac{2\pi}{z} \right) \Bigg\rangle \sin\frac{3\pi kz}{l}$$

$$= K_1(t)\sin\frac{\pi kz}{l} + K_2(t)\sin\frac{3\pi kz}{l};$$

$$\operatorname{Re}\{\varepsilon(x,t)\} = \frac{3P_x}{l}\left\langle \sum_{k=1} \frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}\right.$$

$$+\cos\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$+\frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}$$

$$-\cos\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$-\frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}$$

$$+\cos\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$-\frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^8}$$

$$\left.-\cos\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-(q-1)\frac{2\pi}{z}\right)\right\rangle\sin\frac{\pi kz}{l}$$

$$+\frac{P_x}{l}\left\langle\sum_{k=1}\frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}\right.$$

$$+\cos\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t+\left(q\quad 1\right)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$+\frac{3\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}$$

$$-\cos\left(\left(\frac{\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-\left(q\quad 1\right)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$-\frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}+\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}$$

$$+\cos\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t-\left(q\quad 1\right)\frac{2\pi}{z}\right)$$

$$-\frac{\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)}{\left(EJ_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4-\rho J_y\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2+F\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)^2\right)^2+\left(EJ_y\eta\right)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^8}$$

$$\left.-\cos\left(\left(\frac{3\pi kS_n}{l}-\frac{\pi nz^*}{30}\right)t\quad\left(q\quad 1\right)\frac{2\pi}{z}\right)\right\rangle\sin\frac{3\pi kz}{l}$$

$$=K_3\left(t\right)\sin\frac{\pi kz}{l}+K_4\left(t\right)\sin\frac{3\pi kz}{l}. \qquad (9)$$

Заключение. Полученные выражения позволяют теоретически рассчитать спектр вибраций лонжерона и на этой основе определить ожидаемые уровни излучаемого шума, что, в свою очередь, является основой для акустиче-

ского проектирования систем шумозащиты с требуемой величиной звукоизолирующей способности.

Библиографический список

1. *Балыков И.А.* Влияние процессов резания на шум фрезерных станков / И.А. Балыков, А.Н. Чукарин, Д.З. Евсеев // Новое в безопасности жизнедеятельности и экологии: Сб. ст. докл. конф., - Санкт-Петербург 14-16 октября. –СПб., 1996. – С. 222-223.
2. *Балыков И.А.* О расчете шума, излучаемого заготовкой при фрезеровании / Донской гос. техн. ун-т. –Ростов н/Д, 1996. – Деп. в ВИНИТИ 16.08.96, № 2685-В96.
3. *Чукарин А.Н., Балыков И.А.* Экспериментальные исследования шума и вибрации фрезерных станков / Донской гос. техн. ун-т. –Ростов н/Д, 1996. – Деп. в ВИНИТИ 16.08.96, № 2687-В96.
4. *Жарков И.Г.* Вибрации при обработке лезвийным инструментом. / И.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя, Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
6. Расчеты на прочность в машиностроении / Под ред. С.Д. Пономарева. – М.: Машгиз, 1959. –884 с.

Материал поступил в редакцию 20.01.09.

O.A. KALASHNIKOVA

ABOUT ACCOUNT OF VIBRATION SPEEDS AT MILLING SPARS

Process of formation of vibrations in-process surveyed at milling lengthy details (spars). Analytical dependences which allow to calculate a spectrum of vibrations of the spar are obtained and on this basis to define expected levels of emitted noise.

КАЛАШНИКОВА Оксана Александровна, инженер ОАО "Роствертол", соискатель кафедры "Технологическое оборудование" ДГТУ. Окончила ЮРГТУ (2006).
Область научных интересов - виброакустическая динамика технологических систем.
Автор 4 научных работ.
dkoryrev@dstu.edu.ru